

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Інститут Авіаційних Технологій
(повна назва інституту/факультету)

Кафедри систем керування літальними апаратами
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Збруцький О.В.
(підпис) (ініціали, прізвище)

“5 ” _____ червня _____ 2020 р.

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності (спеціалізації) _____
(код та назва спеціальності)

на тему: Визначення і компенсація основних похибок вимірювання системи визначення орієнтації квадрокоптера на основі комплементарного фільтра

Виконала: студентка 4-го курсу, групи ВЛ-г61-1
(шифр групи)

_____ Матющенко Анастасія Сергіївна _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник _____ Рижков Лев Михайлович _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____ _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____ Маринощенко Олександр Петрович _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 року

ЗМІСТ

Анотація.....	Ошибка! Закладка не определена.
СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	Ошибка! Закладка не определена.
ВСТУП.....	4
Розділ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ З ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА КОМПЕНСАЦІЇ ОСНОВНИХ ПОХИБОК СИСТЕМИ ОРІЄНТАЦІЇ.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.1. Аналіз похибок датчиків, що використовуються для визначення положення тіла в просторі. Ошибка! Закладка не определена.	
1.1.1. Акселерометр	Ошибка! Закладка не определена.
1.1.2. Гіроскоп	Ошибка! Закладка не определена.
1.1.3. Магнітометр.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.2. Основні чинники, що впливають на точність систем орієнтації.	Ошибка! Закладка не определена.
1.3. Методи компенсації основних похибок системи орієнтації.	Ошибка! Закладка не определена.
1.4. Висновок до розділу 1.....	Ошибка! Закладка не определена.
Розділ 2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОМПЛЕМЕНТАРНОГО ФІЛЬТРА ТА ЙОГО МОДЕЛЬ У СЕРЕДОВИЩІ SIMULINK.....	Ошибка! Закладка не определена.
2.1. Загальний опис комплементарного фільтра.	Ошибка! Закладка не определена.
2.2. Математична модель комплементарного фільтра.....	Ошибка! Закладка не определена.
2.3. Модель КФ у середовищі Simulink.	Ошибка! Закладка не определена.
2.4. Висновок до розділу 2.....	Ошибка! Закладка не определена.

					<i>ВЛ-261-1-10.16.77.01.01 ПЗ</i>	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		2

Розділ 3. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОХИБОК КОМПЛЕМЕНТАРНОГО ФІЛЬТРА **Ошибка! Закладка не определена.**

- 3.1. Вплив зміщення нулів та коефіцієнтів передачі датчиків **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.2. Вплив постійної часу **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.4. Висновок до розділу 3 **Ошибка! Закладка не определена.**

Розділ 4. ОПИС АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ ОРІЄНТАЦІЇ НА ОСНОВІ КОМПЛЕМЕНТАРНОГО ФІЛЬТРА **Ошибка! Закладка не определена.**

- 4.1.1. Характеристики гіроскопа. **Ошибка! Закладка не определена.**
- 4.1.2. Характеристики акселерометра. **Ошибка! Закладка не определена.**
- 4.2. Опис стендового обладнання для калібрування..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 4.3. Калібрування датчиків. **Ошибка! Закладка не определена.**
- 4.4. Висновок до розділу 4..... **Ошибка! Закладка не определена.**

Розділ 5. МОДЕЛЮВАННЯ КОМПЛЕМЕНТАРНОГО ФІЛЬТРА. РОЗРАХУНОК ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КУТІВ ОРІЄНТАЦІЇ. **Ошибка! Закладка не определена.**

- 5.1. Точність визначення постійної часу **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.2. Вплив дрейфу нуля гіроскопа..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.3. Коефіцієнти зміщення нуля та коефіцієнти перетворення датчиків. **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.3. Вплив шуму акселерометра..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.4. Визначення точності системи..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.4. Висновок до розділу 5..... **Ошибка! Закладка не определена.**

Розділ 6. КОМПЕНСАЦІЯ ОСНОВНИХ ПОХИБОК СИСТЕМИ ОРІЄНТАЦІЇ НА ОСНОВІ КОМПЛЕМЕНТАРНОГО ФІЛЬТРА..... **Ошибка! Закладка не определена.**

- 6.1. Зменшення похибки від гіроскопа. **Ошибка! Закладка не определена.**

6.2. Висновок до розділу 6..... **Ошибка! Закладка не определена.**

ВИСНОВОК6

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....8

					<i>ВЛ-261-1-10.16.77.01.01 ПЗ</i>	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		4

ВСТУП

Останнім часом питання точності систем орієнтації безпілотних літальних апаратів набуло актуальності. Існує багато різних систем, фільтрів та методів обробки даних з різних датчиків, але не всі вони гарантують високу точність визначення параметрів.

У проекті розглядається питання точності системи визначення орієнтації твердого тіла на основі двох датчиків: гіроскопа та акселерометра. Окремо кожен із датчиків має свої значні похибки. Так у гіроскопа є дрейф нуля і помилка, наростаюча в часі через інтегрування кутової швидкості при визначенні кутів орієнтації. Акселерометр дуже чутливий до зовнішніх механічних впливів. Вирішенням цієї проблеми є об'єднання показань датчиків та фільтрація вихідного сигналу.

Окрім похибок фільтрації сигналу та інструментальних похибок самих датчиків існують похибки від різноманітних впливаючих величин, що діють на квадрокоптер у ході роботи. Такі як: вітер, зміна температури, тощо. Схеми роботи та математичні моделі комплементарного фільтра вже відомі, та досліджень з аналізу точності ще не проводилось.

Для урахування всіх можливих впливів спершу треба розглянути залежність величину похибки від основних параметрів фільтра та датчиків. Питання точності системи орієнтації на основі комплементарного фільтра є основним у даній роботі.

Максимальна допустима похибка визначення кутів орієнтації складала $\pm 0,5^\circ$. Отримане значення загальної похибки системи вийшло на одну десяту градуса менше, при умові впливу всіх параметрів одночасно. Це свідчить про коректну роботу фільтра та можливість його використання у складі системи орієнтації об'єкта на базі квадрокоптера.

Структура ПЗ з стислою характеристикою її розділів:

						Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ВЛ-261-1-10.16.77.01.01 ПЗ</i>	

Розділ 1 містить детальний опис основних похибок та принципу роботи датчиків, що входять в склад системи, а саме : акселерометра, гіроскопа та магнітометра. Також , на основі літератури, приведені основні чинники, що впливають на точність системи орієнтації. В останньому підрозділі описані основні методи компенсації систематичних похибок.

У розділі 2 описана математична модель комплементарного фільтра , його основна та спрощена структурні схеми. Наведений приклад однієї з моделей комплементарного фільтра у середовищі Simulink з одним із впливів, що розглядаються в роботі. Також наведений принцип аналізу системи.

Розділ 3 складається з математичної моделі похибок фільтра за впливом коефіцієнтів підсилення та зміщення нуля акселерометра і гіроскопа. Також присутній опис вибору постійної часу та її вплив на смугу пропускання фільтра.

Опис основних характеристик датчиків, що розглядаються в роботі наведено у розділі 4. Ще в ньому присутній опис стендового обладнання для калібрування акселерометра та гіроскопа.

У розділі 5 проведено моделювання основних п'яти похибок фільтра. Проаналізовано спочатку вплив окремо кожної складової і описано її вплив на загальну похибку. Потім проведено моделювання системи з усіма впливами і зроблено висновки щодо точності комплементарного фільтра.

Розділ 5 містить спосіб компенсації статичної похибки системи шляхом підвищення астатизму системи.

					<i>ВЛ-261-1-10.16.77.01.01 ПЗ</i>	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

Метою даного дипломного проекту було визначення точності системи орієнтації на основі комплементарного фільтра. Вибір впливаючих параметрів та пред'явлення вимог по точності їх визначення для забезпечення абсолютної похибки визначення кута не більше ніж $\pm 0,5^\circ$.

На основі аналізу вже існуючої системи визначення орієнтації на основі комплементарного фільтра було :

- проведено аналіз основних похибок датчиків, що входять до системи орієнтації;
- проаналізовано математичну модель комплементарного фільтра на основі двох датчиків: акселерометра та гіроскопа;
- описано основні похибки комплементарного фільтра математичною моделлю;
- промодельовано вплив 5-ти основних похибок на загальну похибку системи;
- визначено, що система при заданих умовах може вимірювати кут орієнтації з точністю $\pm 0,4^\circ$.

Основними похибками системи вважались похибки від :

- неточності визначення постійної часу;
- дрейфу нуля гіроскопа ;
- зміщення нуля акселерометра ;
- коефіцієнтів підсилення датчиків;
- високочастотного шуму , що діє на акселерометр.

Розроблена спрощена структурна схема для аналізу похибок КФ розрахована на малі кути орієнтації (до 15 градусів) та може бути використана для аналізу інших додаткових похибок. Таким чином можливо ще більше підвищити точність системи.

					ВЛ-261-1-10.16.77.01.01 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Подальший розвиток даного ДП може бути по напрямкам :

- вплив температури на точність фільтра;
- вплив вітру та інших чинників на точність фільтра.

Отримані результати допомагають гарантувати точність визначення кутів та виділити переваги комплементарного фільтра над іншими. Основними перевагами є :

- усунення наростаючої похибки від інтегрування показів гіроскопа;
- нівелювання дрейфу нуля гіроскопа;
- компенсація похибок від параметрів датчиків;
- простий та зрозумілий принцип роботи;
- можливість спрощення структурної схеми для малих кутів.

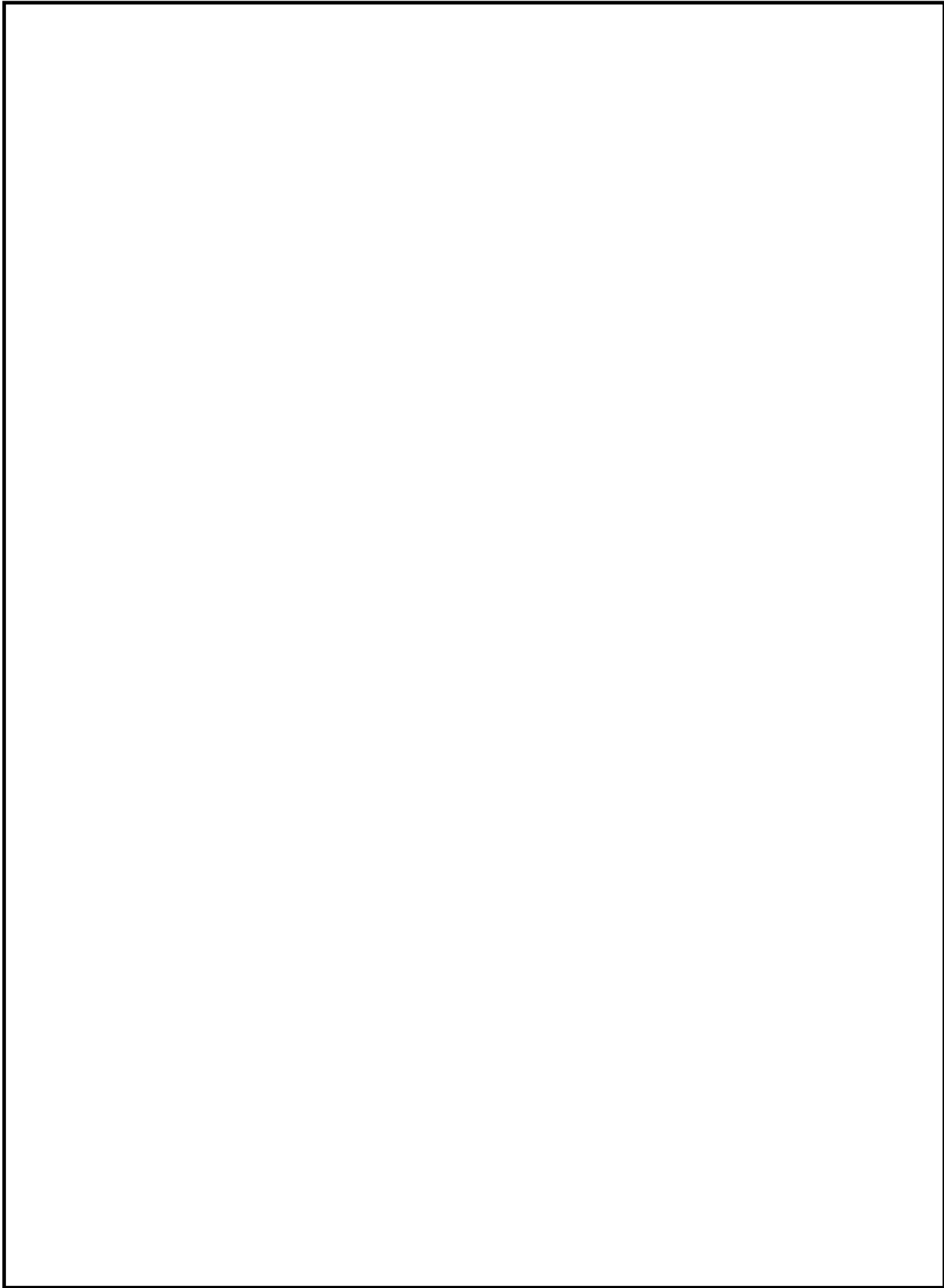
В ході виконання ДП було повністю дотримано всіх вимог по точності визначення кутів орієнтації та у повному обсязі виконано завдання до проєкту.

					<i>ВЛ-261-1-10.16.77.01.01 ПЗ</i>	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. «Особенности построения модели погрешности микроэлектромеханических датчиков при решении навигационной задачи» М.А. Ломакин
2. Электронный ресурс. <https://russianelectronics.ru/mems-datchiki-dvizheniya-ot-stmicroelectronics-akselerometry-i-giroskopy/>
3. Разработка алгоритма для исследования погрешностей МЭМС-акселерометра. URL: https://studwood.ru/570993/informatika/teoreticheskaya_chast (дата посещения: 10.04.2020).
4. Казакевич А. Акселерометры Analog Devices — устройство и применение. Компоненты и Технологии, 2007, № 70, СТ 46-47
5. И.Шахнович. МЭМС-гироскопы – единство выбора. Электроника НТБ Выпуск № 1/2007
6. Приборостроение, метрология и информационно-измерительные системы. Анализ погрешностей микромеханических гироскопов методом Аллана, В.В. Матвеев, М.Г. Погорелов - Известия ТулГУ. Технические науки. 2015. Вып. 3 , с 123-124
7. МЭМС акселерометры, магнитометры и углы ориентации. Электронный ресурс : <https://habr.com/ru/post/491476/>
8. Ориентация и навигация подвижных объектов. Современные информационные технологии / под ред. Б.С. Алёшина А.И. Черноморского- М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 424с., с 379-386.
9. Оцінка похибок прямих та непрямих вимірювань. Електронний ресурс. URL : <https://opticstoday.com/katalog-statej/stati-na-ukrainskom/optichni-vimiryuvannya/osinka-roxibok-pryamix-ta-nepryamix-vimiryuvan.html>
10. Даташит на MPU. URL: <https://invensense.tdk.com/wpcontent/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>

					<i>ВЛ-261-1-10.16.77.01.01 ПЗ</i>	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		



					<i>ВЛ-261-1-10.16.77.01.01 ПЗ</i>	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		